Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 931-948

Investigating the Effect of Salicylic Acid on Reduce Salinity Stress in Tomatoes

J. Panahandeh[1]*, M.S. Zare far[2], A. Motallebi-Azar[1], F. Zare Nahandi[1], M. Amani[3]

1, 2 and 3- Associate Professor, M.Sc Graduated and Ph.D. Student of the Physiology of Production and Post-harvest of Medicinal Plants, Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: panahandeh@tabrizu.ac.ir)

Received: 06-11-2022 Revised: 15-02-2023 Accepted: 12-03-2023 Available Online: 12-03-2023	**How to cite this article:** Panahandeh, J., Zare far, M.S., Motallebi-Azar, A., Zare Nahandi, F., & Amani, M. (2024). Investigating the effect of salicylic acid on reduce salinity stress in tomatoes. *Journal of Horticultural Science, 37*(4), 931-948. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79421.1206

Introduction

Various methods of stress directly affected the growth and production yield of numerous plants. For example, environmental stress reduces the tomato manufacturing by the disrupting its natural metabolism, or, salinity stresses affect the it is growth and development from the germination stage to the fruit ripening stage. Salinity in tomatoes by stimulating the biosynthesis of growth regulators such as ethylene and abscisic acid leads to the acceleration of the aging of the leaves. Therefore, development of different methods to induce salinity stress tolerance in plants is necessary. Some approaches were studied to develop the salinity tolerant plants such as genetic breeding, environmental improvements and usage of phytohormones and signal molecules. Salicylic acid or orthohydroxybenzoic acid plays an important role in regulating the physiological and biochemical responses of plants to stress conditions, which improves the plant's resistance to adverse environmental conditions. For instance, salicylic acid is a facile and effective way to increase plant productivity under salt stress conditions. Considering the positive effects of salicylic acid in modulating the effects of salinity, this study was conducted with the aim of investigating the effects of salicylic acid's usage in modulating the harmful effects of salinity on some vegetative, physiological, quantitative and qualitative characteristics of two tomato cultivars of Baneh local mass and Semi Dwarf line.

Materials and Methods

To investigate the effect of salicylic acid in modulating the effects of salinity stress in tomato, a factorial experiment was conducted in the form of a randomized complete block design, with 12 treatments, in 3 replications and with a total of 36 experimental units in the hydroponic greenhouse of the Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, and university of Tabriz. The treatments included two levels of salicylic acid (0 and 1 mM) and salinity levels (0, 35 and 70 mM NaCl) on two tomato cultivars of Baneh and Semi Dwarf .

Results and Discussion

The results showed that in Baneh and Semi Dwarf cultivars, the increase in salinity levels caused a decrease in vegetative indices, meanwhile the treatment of salicylic acid along with salt stress increased same indices. Also, salt stress caused yield reduction in both Baneh and Semi Dwarf cultivars. By examining the qualitative indicators, it was observed that titratable acidity and vitamin C increased with salt stress and salicylic acid treatment in both cultivars. In terms of physiological indicators, the amount of proline increased at different salinity levels with salicylic acid treatment, but the amount of leaf chlorophyll index decreased with the increase of same condition.

Conclusion

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79421.1206

The results of testing the effect of salicylic acid and the effects of salinity stress on vegetative, quantitative, qualitative and physiological indicators in Baneh and Semi Dwarf tomatoes showed a remarkable difference in terms of significance. In terms of vegetative traits; Plant height, leaf area index, shoot wet in Baneh and Semi Dwarf cultivars decreased with increasing salinity levels of vegetative indices, but salicylic acid treatment along with salinity stress increased same indices. Indicators such as yield, fresh weight of fruit, and percentage of dry matter of fruit showed different responses to different levels of salinity and salicylic acid treatment. The fresh weight of fruit increased with the application of salicylic acid. Also, salt stress caused an increase in the percentage of dry matter of the fruit. But salt stress caused yield reduction in both Baneh and Semi Dwarf cultivars. In terms of quality indicators; the amount of titratable acidity and vitamin C increased with salt stress and salicylic acid treatment in both cultivars. In terms of physiological indicators, the level of proline increased across various salinity levels with salicylic acid treatment. However, the leaf chlorophyll index decreased with rising salinity levels, even in the presence of salicylic acid treatment. Overall, salinity stress caused a decrease in most analyzed traits in the Baneh and Semi Dwarf cultivars. Nevertheless, it led to improvements in certain quality traits. Additionally, salicylic acid treatment enhanced the mentioned indices in most of the examined traits in both cultivars. Therefore, considering the positive effects of salicylic acid treatment on Baneh and Semi Dwarf cultivars under salinity stress conditions, its use is recommended.

Keywords: Proline, Salicylic acid, Salinity stress, Tomato, Vitamin C

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ۹۴۸-۹۳۱

بررسی اثر سالیسیلیک‌اسید بر تعدیل تنش شوری در گوجه‌فرنگی

جابر پناهنده[۱]* - محمدصدیق زارع‌فر[۲] - علیرضا مطلبی آذر[۱] - فریبرز زارع نهندی[۱] - مینا امانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۱

چکیده

سالیسیلیک اسید یکی از ترکیبات مفید برای گیاهان محسوب می‌شود که نقش مهمی در مقاومت گیاهان به تنش‌های محیطی از جمله تنش شوری دارد. بدین‌منظور جهت بررسی تأثیر سالیسیلیک اسید در تعدیل اثرات تنش شوری در گوجه‌فرنگی آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با ۱۲ تیمار، در ۳ تکرار و با مجموع ۳۶ واحد آزمایشی در گلخانه‌ی هیدروپونیک گروه باغبانی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در بهار و تابستان سال ۱۳۹۷ صورت گرفت. تیمارها شامل دو سطح سالیسیلیک اسید (صفر و ۱ میلی‌مولار) و سه سطح شوری (صفر ، ۳۵ و ۷۰ میلی‌مولار NaCl) بر روی دو ژنوتیپ گوجه‌فرنگی توده محلی بانه و لاین نیمه پاکوتاه (Semi Dwarf) بود. نتایج نشان داد که با افزایش تنش شوری تا سطح ۷۰ میلی‌مولار، شاخص‌های رویشی در هر دو ژنوتیپ کاهش یافت. درحالی‌که برهمکنش تیمار سالیسیلیک‌اسید در تنش شوری باعث افزایش شاخص‌های رویشی شد. بیشترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ Semi Dwarf بدون تنش شوری (۱۳۷۳ گرم) است. با اعمال تنش شوری و سالیسیلیک اسید میزان اسیدیته قابل تیتراسیون و ویتامین ث در هر دو ژنوتیپ افزایش یافت. برهمکنش سطوح مختلف شوری در سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش میزان پرولین شد، اما اثر متقابل تنش شوری × سالیسیلیک اسید باعث کاهش میزان کلروفیل شد. این نتایج نشان می‌دهد که تیمار با سالیسیلیک اسید می‌تواند تحمل گیاه را در برابر تنش شوری از طریق تجمع پرولین و در نتیجه حفظ فشار تورژسانس سلول‌ها افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی: تنش شوری، پرولین، سالیسیلیک‌اسید، گوجه‌فرنگی، کلروفیل، ویتامین ث

مقدمه

تنش‌های محیطی از عوامل محدودکننده تولیدات گیاهان هستند که با مختل ساختن متابولیسم طبیعی گیاه، رشد آن را محدود کرده و در نهایت، محصول را کاهش می‌دهند. تنش شوری عمده‌ترین تنش محیطی است که از طریق کاهش پتانسیل اسمزی و اختلال در جذب برخی عناصرغذایی، رشد و عملکرد محصولات را محدود می‌کند (Egamberdieva *et al.*, 2019). گیاهانی که در خاک‌های شور رشد می‌کنند، به‌دلیل خواص اسمزی، علاوه بر تنش شوری، با تنش کم‌آبی مواجه شده، که این عامل سبب کاهش سرعت رشد گیاه می شود و اثرات نامطلوب بر رشد و نمو گیاه در هر دو سطح فیزیولوژیک و بیوشیمیایی دارد که مستقیماً بر عملکرد و کیفیت محصولات تأثیر می‌گذارد (Cheng *et al.*, 2016). جدا از اثرهای سمی و اسمزی و شوری، تنش شوری باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش نشت‌پذیری غشا سلول‌ها شده که علاوه بر آسیب اکسیداتیو وارد شده توسط گونه‌های فعال اکسیژن، باعث افزایش برخی پروتئین‌ها مانند پروتئین‌های شوک گرمایی، چپرون‌ها و سایر پروتئین‌های سم‌زدا می شود (Ahmad *et al*., 2019). تحت تنش شوری، افزایش بیوسنتز اسمولیت‌هایی مانند قندهای محلول، پرولین و سوربیتول سلول‌ها را در برابر تنش اسمزی محافظت می‌کند. این اسمولیت‌ها در متعادل کردن غلظت نمک خارج سلولی و خنثی نمودن یون‌های سدیم و کلر در واکوئل‌ها نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند (Nounjan *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2024).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشیار، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشجوی دکتری فیزیولوژی تولید و پس از برداشت گیاهان دارویی، گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: panahandeh@tabrizu.ac.ir
https://doi.org/10.22067/jhs.2023.79421.1206

گوجه فرنگی *Solanum lycopersicom* Mill. متعلق بـه تیـره سولاناسه و دومین سبزی مهم در سرتاسر دنیا است (Massaretto *et al.*, 2018; Rezvan *et al.*, 2022). تنش‌های شوری بر جنبه‌هـای مختلف رشد و نمو گوجه فرنگی از مرحله جوانه‌زنی تا مرحله رسـیدن میوه تأثیر می‌گذارد. در این ارتبـاط، اعمـال شـوری روی بـذرهای در حال جوانه‌زنی گوجه‌فرنگی منجربه وارد شدن این بذرها به جوانه‌زنـی شده است (Pessarakli, 2016). شوری در گوجه فرنگی با تحریـک بیوسنتز تنظیم‌کننده‌های رشد همانند اتیلن و اسید آبسـزیک منجربـه تسریع پیری برگ‌ها و درنتیجه کوتاه شدن طول دوره میوه‌دهـی مـی شود (Signore *et al.*, 2016). بنابراین توسعه روش‌های مختلف به-منظور القاء تحمل تنش شوری در گیاهان امری ضروری بوده و توجه زیادی را به خود جلب نموده است. رویکردهـای مطالعـه شـده بـرای توسعه گیاهان مقاوم به شوری شامل بهبودهـای ژنتیکـی و محیطـی است. در این میان، نقش برخی فیتوهورمون‌ها و مولکول‌های سیگنال در پاسخ گیاهان به محرک‌های محیطی مشخص شده است (Rivas-San Vicente & Plasencia, 2011). استفاده از اسـید سالیسـیلیک راهی آسان و مهم برای بهبود رشد و افـزایش بهـره‌وری گیـاه تحـت شرایط تـنش شـوری اسـت (Farhadi & Ghassemi-Golezani, 2020).

سالیسیلیک اسید یا ارتوهیدروکسی بنزوئیک اسید نقش مهمی در تنظیم پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی گیاهان به شـرایط تـنش دارد که مقاومت گیاه را در برابر شرایط نامسـاعد محیطـی بهبـود مـی بخشد (Ma *et al.*, 2017). این ماده یک ترکیب فنولی طبیعی است که در رشد گیاه و فرآیندهای فیزیولوژیک مانند جوانه‌زنـی بـذر، بسـته شدن روزنه، جذب یون، فتوسـنتز، تعـرق، متابولیسـم کربوهیـدرات و کاهش پراکسیداسیون لیپید نقش دارد (Antonic *et al.*, 2016). بـه کار بردن سالیسیلیک اسید پاسـخ دفـاعی گیـاه و مقاومـت اکتسـابی سیستماتیک (SAR) را فعال می‌کند و از این طریـق باعـث مقاومـت گیاه در برابر تنش‌های غیرزنده ماننـد تـنش شـوری، دمـای پـایین و خشکی می‌شود (Jayakannan *et al.*, 2015). به احتمال زیـاد اثـر سالیسیلیک اسید به عوامل مختلفی از جمله دوز، گونه گیاهی، مرحلـه رشد و نحوه کاربرد بستگی دارد (Horvath *et al.*, 2015; Poor *et al.*, 2019). نشان داده شده است که استفاده از سالیسیلیک اسـید در شرایط تنش شوری می‌توانـد بـه‌طـور مـؤثری باعـث کـاهش آسـیب رنگیزه‌ها در گیاهان جوز هندی (Li *et al.*, 2014) و میخک (Ma *et al.*, 2017) شود. نتایج آزمایش احمدی (Ahmadi, 2017) نشان داد که کاربرد سالیسیلیک اسید تحت تنش شوری در گوجه‌فرنگـی تیمـار شده باعث افزایش میانگین سـطح تـک بـرگ، افـزایش در محتـوای نسبی آب برگ، پایداری غشاء سلولی، میزان کلروفیل و کاروتنوئیدها، کربوهیدرات‌های محلول کل، پرولین، فعالیت آنزیم‌های پاداکساینده و به‌طورکلی سبب بهبود خصوصیات مورفوفیزیولـوژیکی در مقایسـه بـا گوجه‌فرنگی‌های شاهد گردید. بنابراین در شرایط تنش شوری استفاده از پیش تیمار سالیسیلیک اسید جهت افـزایش مقاومـت گیـاه توصـیه می‌گردد.

تجمع مواد حل‌شونده سازگار در گیاهان طی تنش شـوری ممکـن است موجب تعدیل اسمزی و پایداری ساختارهای سلولی در برابر تنش شود (Nounjan *et al.*, 2012). بنابراین، می‌توان چنین فرض کـرد که تیمـار بـا سالیسـیلیک اسـید، احتمـالاً از طریـق افـزایش غلظـت اسمولیت‌ها سبب القای مقاومت در برابر تنش شـوری شـود. بنـابراین این پژوهش با هدف بررسی اثرات سالیسیلیک‌اسید بر کاهش خسارت در گیاه در برابر تنش شـوری بـر روی برخـی ویژگـی‌هـای رویشـی، فیزیولوژیکی، کمی و کیفی در دو ژنوتیپ گوجه‌فرنگی توده محلی بانه و لاین نیمه پاکوتاه (Semi Dwarf) انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی گـروه علـوم باغبـانی، دانشـکده کشـاورزی دانشـگاه تبریـز (ایسـتگاه تحقیقـاتی خلعـت‌پوشـان) و بررسی‌های آزمایشگاهی در آزمایشگاه‌هـای گـروه باغبـانی دانشـکده کشاورزی دانشگاه تبریـز انجـام گردیـد. طـرح آزمـایش بـه‌صـورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی، با ۱۲ تیمار، در سه تکرار و بـا مجموع ۳۶ واحـد آزمایشـی اجـرا گردیـد. تیمارهـا شـامل دو سـطح سالیسیلیک اسید (صفر و یک میلی‌مولار) و دو سـطح شـوری (صـفر، ۳۵ و ۷۰ میلی‌مولار NaCl) بر روی دو ژنوتیپ گوجـه‌فرنگـی (لایـن Semi Dwarf و توده محلی Baneh) در بهار و تابستان سـال ۱۳۹۷ بود.

بستر مورد استفاده در مراحل اولیه کشت، برای جوانه‌زنـی بـذرها، مخلوط پرلایت با کوکوپیت با نسبت دو بـه یـک بـود کـه بـه داخـل سینی‌های کشت ریخته شد. بسـتر مـورد استفاده در مرحلـه اعمـال تیمارها و بعد از انتقال نشاءها به گلدان‌های اصلی جهـت نگـه‌داری و رشد گیاهان، مخلوطی از پرلایت و کوکوپیت به نسبت پـنج بـه یـک بود که پس از آماده‌سازی، این بستر به داخل گلدان‌هـای پلاسـتیکی ۱۲ لیتری ریخته شد. سپس گلدان‌ها آبیـاری شـدند تـا بسـتر کـاملاً خیس شده و برای کاشت نشاءها آماده گردد. در این آزمـایش از یـک لاین نوترکیب گوجه‌فرنگـی Semi Dwarf بـا ویژگـی‌هـای رشـدی معین و یک ژنوتیپ کشت شده گوجه‌فرنگی در شهرستان بانه استفاده شد. بذور این ژنوتیپ‌ها در اوایل بهار در سـینی‌هـای کاشـت کـه تـا دوسوم انتهایی با بستر پرلایت – کوکوپیت پر شـده بودنـد، کشـت و دوباره یک سوم قسمت بالایی سینی‌ها بـا مخلـوط فـوق پـر گردیـد. سینی‌ها پس از کشت کاملاً آبیاری شده و در گلخانـه تحـت شـرایط نوری مناسب قرار گرفتند. پس از سبز شدن کامل و ظاهر شدن اولین برگ حقیقی، نشاءها با محلول غذایی پایه $\frac{1}{2}$ هوگلنـد آبیـاری شـدند.

حدود دو هفته بعد از کشت بذور، گیاهان به اندازه مطلوب جهت انتقال به بستر اصلی آماده شدند. به‌منظور انتقال نشاءها به محل اصلی خود، ابتدا در کف گلدان‌ها به‌طور مساوی شن نخودی (جهت انجام زهکشی) ریخته شد و سپس گلدان‌ها تا نیمه با بستر کشت پرلایت پر شده و نشاءهای یکنواخت که در مرحله‌ٔ سه تا چهار برگی قرار داشتند، به داخل گلدان‌ها به تعداد سه بوته منتقل شده و روی آن با مخلوط بستر پوشانده شده، به‌طوری که سه تا چهار سانتی‌متر از اندام هوایی بالایی نشاء بیرون از بستر باشد و بعد از این مراحل، گیاهان آبیاری شدند. از زمان تولید نشاء و انتقال آن به زمین اصلی تا تولید میوه ۶۰ تا ۷۰ روز طول کشید و تعداد دفعات برداشت براساس تک بوته سه تا چهار بار بود.

جهت تهیه محلول غذایی، مقدار لازم از نمک‌های موردنظر (جدول ۱) با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ گرم توزین شده و در مخازن ۲۰۰ لیتری آماده گردید. از زمان تهیه محلول غذایی و همچنین هر هفته یک‌بار، pH محلول‌ها با استفاده از pH متر کنترل گردیده و با استفاده از اسید سولفوریک، pH در سطوح ۵/۸ تا ۶/۱ برای هر تیمار تنظیم می‌گردید. برای اعمال شوری از سدیم‌کلرید استفاده شد و شوری در سطوح ۳۵ میلی‌مولار NaCl و ۷۰ میلی‌مولار NaCl تنظیم شده و ۴۰ روز بعد از انتقال نشاءها به بستر اصلی تیمار شوری تا مرحله برداشت میوه به مدت حدود ۵۰ روز به میزان ۱۰۰ میلی‌لیتر اعمال شد، همچنین برای تیمار سالیسیلیک اسید از غلظت ۱ میلی‌مولار استفاده شد که ۲ هفته قبل از شروع اعمال تیمار شوری، گیاهان مورد نظر با سالیسیلیک‌اسید تیمار شده و تا زمان برداشت محصول، هر ۱۴ روز یک‌بار به‌صورت اسپری کردن برگ‌ها مخصوصاً زیر برگ‌ها اعمال تیمار سالیسیلیک اسید ادامه داشت.

جدول ۱- فرمول شیمیایی و مقادیر نمک‌های تشکیل‌دهنده‌ی محلول غذایی مورد استفاده
Table 1- Chemical formula and the amount of salts used in the nutrient solution

محلول‌های غذایی هوگلند Nutrient solution	
نمک‌ها Salts	(mg.l^{-1})
KNO_3	50.5
$Ca(NO_3)_2$	82
$MgSO_4.7H_2O$	24
KH_2PO_4	13.6
Fe-EDDHA	4
$MnCl_2.4H_2O$	0.181
H_3BO_3	0.286
$ZnSO_4.7H_2O$	0.022
$CuSO_4.5H_2O$	0.008
$H_2MoO_4.H_2O$	0.002

صفات مورد بررسی و روش‌های اندازه‌گیری آن‌ها

در این مطالعه گیاهان بعد از پایان آزمایش، جهت اندازه‌گیری صفات موردنظر برداشت شدند. صفاتی مانند سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج مدل LI-3100 Area Meter، ارتفاع بوته، وزن تر و خشک اندام هوایی و میوه، شاخص کلروفیل برگ با استفاده از دستگاه کلروفیل‌سنج مدل SPAD-502، درصد ماده خشک میوه، عملکرد کل بوته و اسیدیته قابل تیتراسیون، ویتامین ث میوه‌ها (AOAC, 2005) و پرولین برگ (Bates *et al.*, 1973) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری ویتامین ث میوه‌ها از روش تیتراسیون با محلول رنگی ۲-۶ دی کلروفنل ایندوفنل استفاده گردید. در این روش، اسید اسکوربیک، معرف رنگی ۲-۶ دی کلروفنل را به محلول بی‌رنگ احیا می‌کند و در پایان واکنش، محلول احیا شده در محیط اسیدی به رنگ صورتی در می‌آید (AOAC, 2005).

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۵ گرم ماده‌ی تر گیاهی را با هاون خرد شده و درون یک تیوب ریخته شد، سپس ۱۰ میلی‌لیتر سولفوسالیسیلیک اسید ۳ درصد آماده‌شده را به آن اضافه نموده و نمونه درون یخ قرار داده شد. سپس تیوب را در ۱۵۰۰۰ دور به مدت ۱۰ تا ۱۵ دقیقه در دمای ۴ درجهٔ سانتی‌گراد سانتریفیوژ نموده تا مواد اضافی از محلول جدا گردد. می‌توان به جای سانتریفیوژ از قیف شیشه‌ای و کاغذ صافی برای صاف کردن نمونه‌ها استفاده کرد. سپس مقدار ۲ میلی‌لیتر از عصاره‌ی صاف شده را درون تیوب جدید ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن افزوده و سپس خوب مخلوط شد. همزمان مقدار ۲ میلی‌لیتر از محلول‌های استاندارد صفر، ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پرولین را درون تیوب‌های جدید ریخته و ۲ میلی‌لیتر اسید ناین‌هیدرین و ۲ میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال به آن‌ها افزوده و سپس خوب مخلوط شد. نمونه‌ها را در حمام آب گرم به مدت ۱ ساعت حرارت

داده و سپس درون حمام یخ قرار داده شد. مقدار ۴ میلی‌لیتر تولوئن به محلول اضافه نموده و آن را به مدت ۲۰ ثانیه با دستگاه ورتکس هم زده شد. استانداردهای پرولین محلول در فاز تولوئن را به اندازهٔ لازم در کووت دستگاه اسپکتروفتومتر ریخته و مقدار پرولین را در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت کرده و منحنی استاندارد رسم شد. سپس میزان جذب در نمونه‌های گیاهی را قرائت نموده و با قرار دادن آن در معادله خط مقدار پرولین برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن تر به‌دست آمد (Bates *et al.*, 1973).

تجزیه‌های آماری

پس از جمع‌آوری و مرتب کردن داده‌های به‌دست آمده حاصل از سنجش شاخص‌ها به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار، تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. مقایسه میانگین داده‌ها نیز با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار کامپیوتری Microsoft Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

ویژگی‌های رویشی

نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های رویشی در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات رویشی دو ژنوتیپ گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری

Table 2- ANOVA for the effect of salicylic acid application on the vegetative traits of two tomato cultivars under salinity stress

منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares			
		وزن خشک اندام هوایی Dry weight of aerial parts	وزن تر اندام هوایی Fresh weight of aerial parts	شاخص سطح برگ Leaf area index	ارتفاع بوته Plant height
ژنوتیپ Genotype	1	50.95**	192**	48.8**	8573.1**
شوری Salinity	2	13.35**	347.9**	49.97**	990.84**
سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid	1	9.3*	0.86ns	2.5ns	64.02ns
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	2	1.78ns	12.5ns	2.06ns	90ns
ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید (Cultivar × Salicylic acid)	1	11.24*	58.6*	0.1ns	99.22ns
شوری × سالیسیلیک‌اسید Salinity× Salicylic acid	2	2.98ns	80.2**	8.78**	50.96ns
ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید Genotype × Salinity × Salicylic acid	2	3.91ns	17.98ns	1055**	172.52*
خطا Error	-	2.06	7.57	1.7	34.17

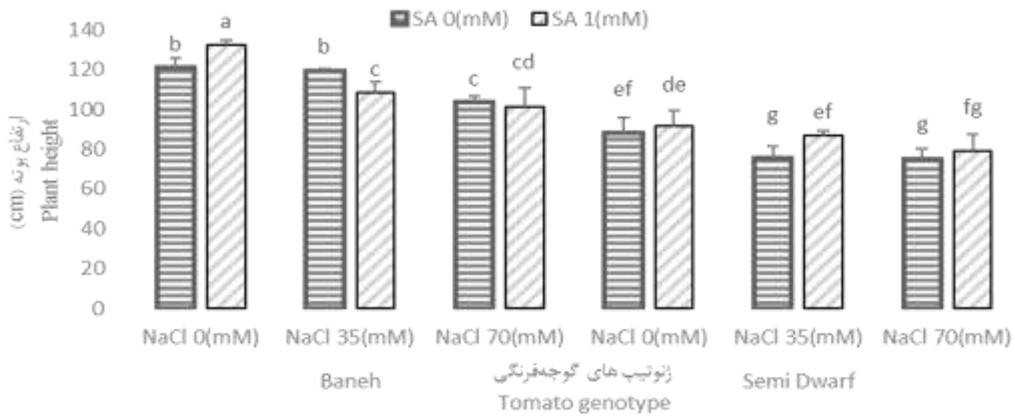
ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p≤0.01$ and $p≤0.05$, respectively.

ارتفاع بوته

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نوع ژنوتیپ و غلظت‌های مختلف شوری تأثیر معنی‌داری بر ارتفاع بوته در سطح احتمال یک درصد داشتند، همچنین اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک اسید بر ارتفاع بوته در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما ارتفاع بوته به‌طور معنی‌داری از اثر سالیسیلیک اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید و شوری × سالیسیلیک‌اسید متأثر نشد. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که به‌ترتیب بیشترین و کمترین ارتفاع بوته مربوط به ژنوتیپ Baneh تیمار شده با سالیسیلیک اسید بدون تنش شوری و Semi Dwarf در سطح شوری ۷۰ میلی‌مولار NaCl بدون تیمار سالیسیلیک اسید بود، در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح شوری ارتفاع بوته کاهش یافت. البته در ژنوتیپ Semi Dwarf استفاده از سالیسیلیک اسید در سطح شوری ۳۵

میلی‌مولار NaCl باعث افزایش ارتفاع بوته شد (شکل ۱). رشد گیاهان در شرایط تنش شوری ممکن است از راه اسمزی و بر اثر پایین رفتن پتانسیل آب در محیط رشد ریشه، یا به دلیل تأثیرات ویژه یون‌ها در فرآیندهای متابولیسمی کاهش یابد. تنش شوری همانند بسیاری از تنش‌های غیرزیستی دیگر، رشد گیاه را محدود می‌کند. کاهش رشد یک نوع سازگاری برای زنده ماندن در شرایط تنش است (Khorsandi *et al.*, 2010). گزارش‌های زیادی حاکی از اثر منفی تنش شوری بر ارتفاع بوته گیاهان و اثر مثبت سالیسیلیک اسید در بهبود صفات ارتفاع بوته در مواجه با تنش شوری می‌باشد (Gharib *et al.*, 2007; Hossein *et al.*, 2007) . در گیاه گوجه فرنگی، مقاومت به شوری و خسارت اکسیداتیو ناشی از کلرید سدیم، به سالیسیلیک اسید نسبت داده شده است. بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2012) با کاربرد کلرید سدیم در غلظت‌های صفر، ۱۰۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار بر گل همیشه بهار نشان دادند که طول شاخساره در اثر تیمارهای شوری نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد که با کاربرد برگساره‌ای سالیسیلیک اسید در غلظت‌های یک و دو میلی مولار طول شاخساره به‌صورت معنی‌داری نسبت به گیاهان تحت تنش بیشتر شد.



شکل ۱- اثر سه‌گانه ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × شوری NaCl (mM) × سالیسیلیک اسید (mM) بر ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی

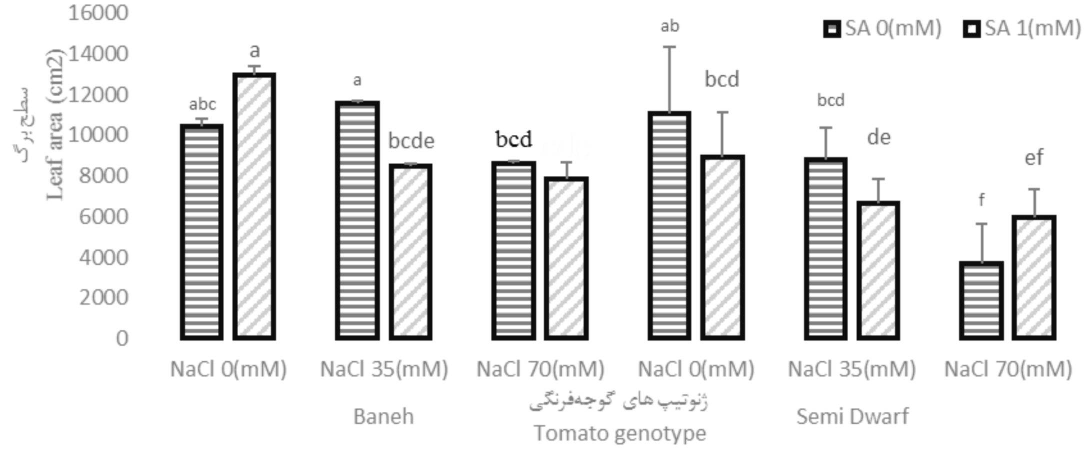
Figure 1- The triple effect of Genotype (Baneh and Semi Dwarf) × NaCl salinity (mM) × salicylic acid (mM) on plant height of tomato plants (DMRT, $p≤0.05$)

The index above each column indicates the standard error.

شاخص سطح برگ

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) شاخص سطح برگ به‌طور معنی‌داری از اثر ژنوتیپ و شوری و همچنین اثرات متقابل شوری × سالیسیلیک‌اسید و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید در سطح احتمال یک درصد متأثر شد، اما اثر سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید بر شاخص سطح برگ معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار شاخص سطح برگ مربوط به ژنوتیپ Baneh تیمار شده با سالیسیلیک‌اسید بدون تنش شوری و Semi Dwarf در سطح شوری ۷۰ میلی مولار NaCl بدون تیمار سالیسیلیک‌اسید بود، همچنین در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح شوری شاخص سطح برگ کاهش یافت و تیمار سالیسیلیک‌اسید باعث تعدیل اثرات شوری بر شاخص سطح برگ نگردید (شکل ۲). کاهش سطح برگ یکی از اولین پاسخ‌های مورفولوژیک در برابر تنش شوری می‌باشد و چنین به‌نظر می‌رسد، گیاه با این مکانیسم سعی در حفظ آب در بافت‌های خود را دارد. گزارش شده است که کاربرد سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش در سطح برگ و افزایش فتوسنتز کل و درنتیجه باعث تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود. اثرات تحریکی سالیسیلیک اسید بر رشد می‌تواند به دلایلی مانند افزایش میزان تقسیم در مناطق مریستمی و رشد سلولی باشد که موجب افزایش رشد می‌گردد و دلیل دیگر آن نیز ممکن است تأثیر سالیسیلیک اسید بر سایر هورمون‌های گیاهی باشد. پیری و همکاران (Piri *et al.*, 2018). در پژوهشی بیان کردند اصلی‌ترین اثر تنش شوری، کاهش سطح برگ در گیاه است (Kiani & Mirlatifi, 2012). کاهش در رشد اندام هوایی در نتیجه شوری به‌طور معمول با کاهش سطح برگ و بازماندن از رشد ساقه توضیح داده می‌شود. کاهش شاخص سطح برگ در اثر تنش شوری می‌تواند به‌دلیل اثر مستقیم نمک بر سرعت تقسیم سلولی یا کاهش مدت زمان توسعه سلولی باشد. چنین به‌نظر می‌رسد که در گیاهان، سرعت انتقال نمک از ریشه به اندام هوایی بیش از ظرفیت ذخیره برگ‌ها برای نمک می‌باشد که باعث کند شدن آهنگ رشد برگ و در نهایت سبب کاهش شاخص سطح برگ می-

گردد. همچنین تنش شوری از طریق کاهش جذب عناصر غذایی، کمبود آب قابل استفاده در گیاه و سمیت عناصر، قدرت رشد سلولی را کاهش داده و باعث کاهش سطح برگ می‌شود (Safari Mohamadieh *et al.*, 2014).



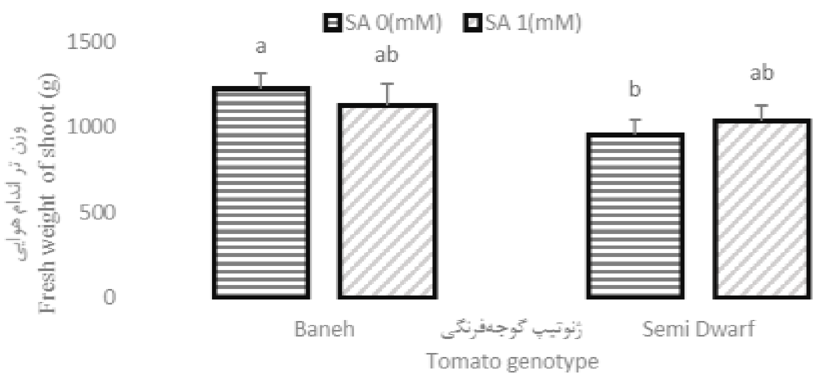
شکل ۲- اثر سه گانه ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × شوری NaCl (mM) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر شاخص سطح برگ گیاه گوجه‌فرنگی

Figure 2- The triple effect ofcultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×NaCl salinity (mM) ×salicylic acid (mM) on the leaf area index of tomato plants **(**DMRT**,** ***p≤0.05*****)**

The index above each column indicates the standard error.

وزن تر و خشک اندام هوایی

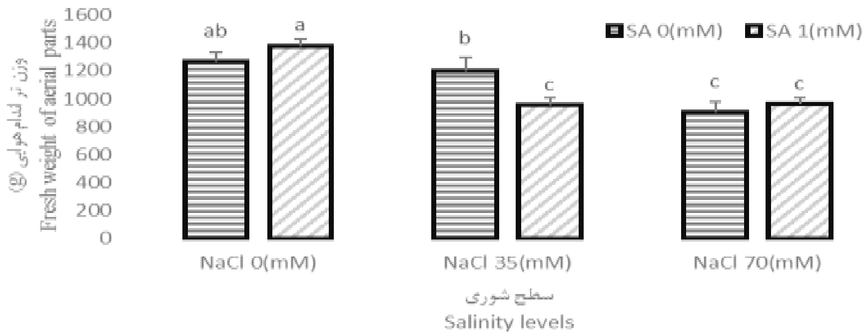
با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اثر ژنوتیپ و شوری و اثرات متقابل شوری × سالیسیلیک‌اسید بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، همچنین اثرات متقابل ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید بر وزن تر اندام هوایی در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما اثر سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر وزن تر اندام هوایی معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی مربوط به ژنوتیپ Baneh بدون تیمار سالیسیلیک‌اسید بود و کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به ژنوتیپ Semi Dwarf بدون تیمار سالیسیلیک‌اسید بود، اما مقایسه میانگین ترکیب تیماری شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین وزن تر اندام هوایی مربوط به شرایط بدون تنش شوری همراه با تیمار سالیسیلیک‌اسید و کمترین وزن تر اندام هوایی مربوط به بالاترین سطح شوری بدون تیمار سالیسیلیک‌اسید بود، از طرفی با افزایش غلظت شوری وزن تر اندام هوایی کاهش می‌یابد و استفاده از سالیسیلیک‌اسید نتوانست در بهبود وزن تر اندام هوایی موثر واقع شود (شکل ۳ و ۴).



شکل ۳- اثر متقابل ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر میانگین وزن تر اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی.

Figure 3- The interaction effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×salicylic acid (mM) on the fresh weight of tomato aerial parts (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.

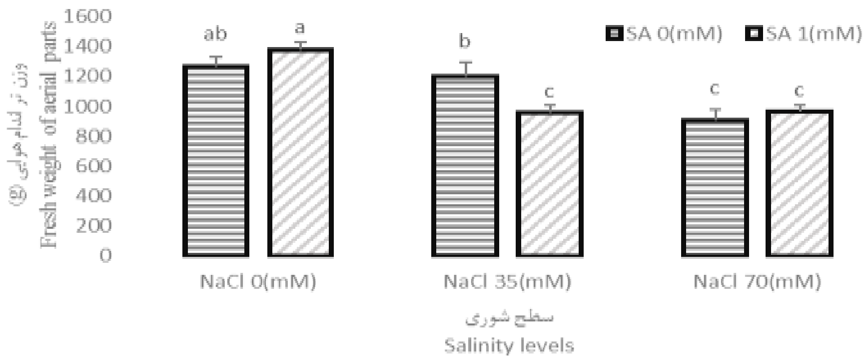


شکل ٤- اثر متقابل شوری NaCl (mM) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر وزن تر اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی

Figure 3- The interaction effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×salicylic acid (mM) on the fresh weight of tomato aerial parts (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.

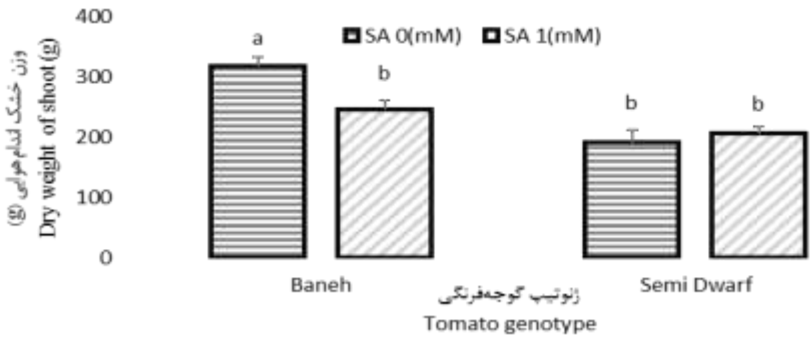
با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) اختلاف معنی‌داری بین ژنوتیپ‌ها و سطوح شوری از نظر وزن خشک اندام هوایی در سطح احتمال یک درصد مشاهده شد، همچنین وزن خشک اندام هوایی به‌طور معنی‌داری از اثر سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید در سطح احتمال ۵ درصد متأثر شد، اما اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و شوری × سالیسیلیک‌اسید و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر وزن خشک اندام هوایی معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به ژنوتیپ Baneh بدون تیمار سالیسیلیک‌اسید بود و کمترین وزن خشک اندام هوایی مربوط به ژنوتیپ Semi Dwarf بدون تیمار سالیسیلیک‌اسید بود، اما مقایسه میانگین نشان داد که با افزایش غلظت شوری وزن خشک اندام هوایی کاهش یافت (شکل ۵ و ۶).



شکل ٥- اثر شوری NaCl (mM) بر وزن خشک اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی

Figure 5- The effect of NaCl (mM) salinity on the dry weight of tomato aerial parts (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.



شکل ٦- اثر متقابل ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر میزان وزن خشک اندام هوایی گیاه گوجه‌فرنگی

Figure 6- The interaction of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×salicylic acid (mM) on the dry weight of tomato aerial parts (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.

محمد و ردی (Mohamed & Rady, 2015) گزارش کردند که تیمار بذرها و شاخساره لوبیا با اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری باعث افزایش پارامترهای مربوط به رشد رویشی شد. در این بررسی تنش شوری باعث کاهش معنی‌دار وزن تر خشک اندام هوایی و ارتفاع گیاه نسبت به شاهد شد. با توجه به اینکه یکی از آثار تنش شوری جلوگیری از جذب آب و ایجاد تنش خشکی است. به همین دلیل پتانسیل آب جهت آماس سلول‌ها، کاهش می‌یابد و در نتیجه وزن گیاه کم می‌شود. محمدزاده و همکاران (Mohammadzadeh et al., 2013) نشان دادند که شوری کاهش قابل ملاحظه‌ای را در وزن اندام هوایی سبب می‌شود. این محققین گزارش نمودند که تحت تأثیر تیمار شوری، روزنه‌ها بسته شده و در نتیجه از تثبیت دی اکسید کربن و در نهایت از میزان وزن خشک گیاه کاسته می‌شود. از سوی دیگر جذب آب و مواد غذایی نیز تحت تأثیر شوری کاهش می‌یابد که این کاهش بر رشد گیاه تأثیر منفی خواهد گذاشت.

ویژگی‌های کمی

نتایج به دست آمده از ویژگی‌های کمی در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات کمی دو ژنوتیپ گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری

Table 3- ANOVA for the effect of salicylic acid application on the quantitaive traits of two tomato cultivars under salinity stress

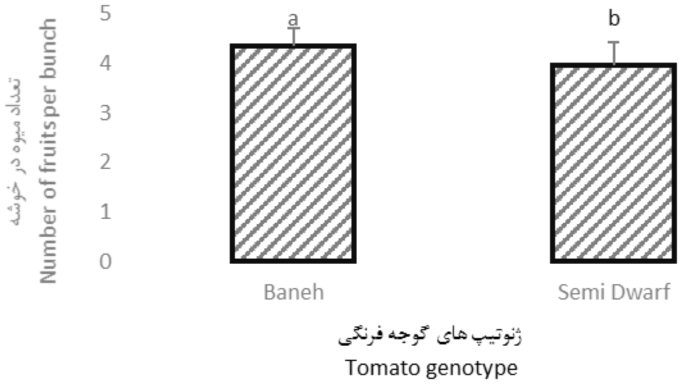
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares		
		عملکرد Yield	درصد ماده خشک میوه Fruit dry matter percentage	وزن تر میوه Fruit fresh weight
ژنوتیپ Genotype	1	183^{ns}	0.813^{ns}	445.95**
شوری Salinity	2	15505*	۱۲/۶۵۶**	17.83^{ns}
سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid	1	1668^{ns}	0.376^{ns}	15.75^{ns}
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	2	80869**	3.201*	6.2^{ns}
ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید (Cultivar × Salicylic acid)	1	562^{ns}	0.169^{ns}	90.37*
شوری × سالیسیلیک‌اسید Salinity× Salicylic acid	2	18880^{ns}	0.948^{ns}	11.88^{ns}
ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید Genotype × Salinity × Salicylic acid	2	20981^{ns}	0.626^{ns}	25.35^{ns}
خطا Error	-	12329	0.886	24.417

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.

وزن تر و درصد ماده خشک میوه

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) اثر ژنوتیپ بر وزن تر میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، همچنین وزن تر میوه به‌طور معنی‌داری از اثرات متقابل ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید در سطح احتمال ۵ درصد متأثر شد، اما اثر شوری و سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و شوری × سالیسیلیک‌اسید و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر وزن تر میوه معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که به‌ترتیب بیشترین و کمترین وزن تر میوه مربوط به ژنوتیپ Baneh تیمار شده با سالسیلیک‌اسید و Semi Dwarf تیمار شده با سالیسیلیک‌اسید بود که به‌عبارتی استفاده از سالیسیلیک‌اسید در ژنوتیپ Baneh باعث افزایش وزن تر میوه شده بود، اما در ژنوتیپ Semi Dwarf تأثیری نداشته بود (شکل ۷).

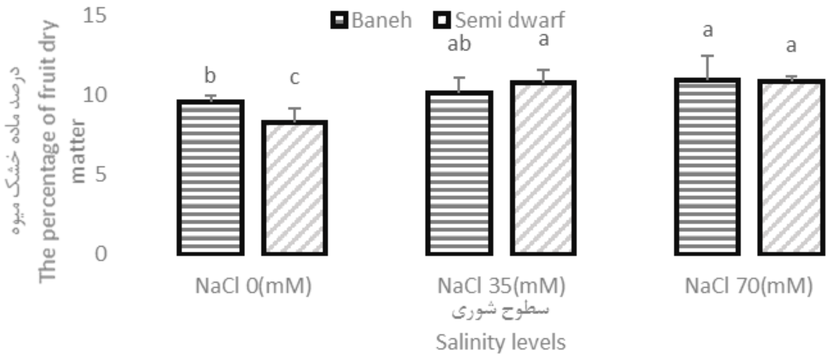


شکل ۷- اثر متقابل ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر وزن تر میوه گوجه‌فرنگی

Figure 7- The interaction effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×salicylic acid (mM) on the fresh weight of the tomato fruit (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) سطوح مختلف شوری تأثیر معنی‌داری بر درصد ماده خشک میوه در سطح احتمال یک درصد داشت، همچنین اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری بر درصد ماده خشک میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما اثر ژنوتیپ و سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید و شوری × سالیسیلیک‌اسید و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر درصد ماده خشک میوه معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و شوری نشان داد که با افزایش غلظت شوری درصد ماده خشک میوه افزایش یافت. به‌طوری‌که به ترتیب بیشترین و کمترین درصد ماده‌ی خشک میوه مربوط به ژنوتیپ Baneh در بالاترین سطح شوری و ژنوتیپ Semi Dwarf بدون تنش شوری بود (شکل ۸).



شکل ۸- اثر متقابل ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × شوری NaCl (mM) بر درصد ماده خشک میوه گوجه‌فرنگی

Figure 8- The interaction effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×NaCl salinity (mM) on the percentage of fruit dry matter in tomato (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.

گزارش شده است اندازه و وزن میوه‌ی گوجه فرنگی تحت تنش شوری کاهش پیدا می‌کند که دلیل آن جلوگیری از جذب آب توسط ریشه و بنابراین کاهش انتقال آب به سمت میوه می‌شود (Hajiaghaei-Kamrani & Hosseinniya, 2013). کاظمی (Kazemi, 2013) نیز با اعمال تیمار ۵-سولفوسالیسیلیک اسید در غلظت‌های مختلف به صورت محلول پاشی بر روی توت فرنگی نشان داد که وزن میوه‌ها با افزایش غلظت اسید سالیسیلیک به صورت معنی‌داری افزایش یافت. تنش شوری از طریق افزایش فشار اسمزی، عدم بالانس یونی و اختلال در جذب عناصر غذایی و نیز کاهش فتوسنتز موجب کاهش وزن میوه‌ها در گیاهان می‌گردد.

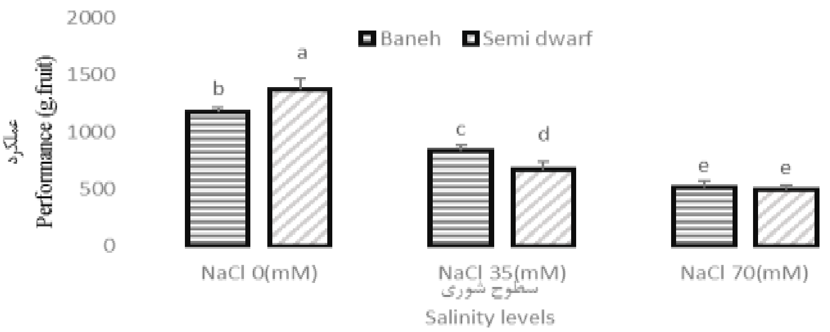
عملکرد

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری بر عملکرد در سطح احتمال یک درصد

معنی‌دار بود، همچنین اثر شوری بر عملکرد در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما اثر ژنوتیپ و سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید و شوری × سالیسیلیک‌اسید و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر عملکرد معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و شوری نشان داد که بیشترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ Semi Dwarf بدون تنش شوری است و کمترین عملکرد مربوط به ژنوتیپ Semi Dwarf در بالاترین سطح تنش بود و همچنین لازم به ذکر است که در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح شوری میزان عملکرد کاهش یافت (شکل ۹). فلاویرز (Flowers, 2004) گیاه گوجه‌فرنگی ژنوتیپ Danilla را تحت تأثیر شوری‌های مختلف قرار داد. نتایج حاکی از آن بود که شوری عملکرد میوه گوجه فرنگی را کاهش داد. از طرفی دیگر افزایش شوری سبب ازدیاد قندها و اسیدهای آلی و در نتیجه بهبود کیفیت گوجه‌فرنگی گردید. این محققان گزارش کردند که تأثیر تیمارهای شوری بر گیاه گوجه‌فرنگی با افزایش در کیفیت میوه و کاهش در عملکرد آن همراه بود.

ویژگی‌های کیفی

نتایج تجزیه واریانس به‌دست آمده از ویژگی‌های کیفی در جدول ۴ آورده شده است.



شکل ۹- اثر متقابل ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × شوری NaCl (mM) بر میزان عملکرد گوجه‌فرنگی

Figure 9- The interaction effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×NaCl salinity (mM) on the yield of tomamto (DMRT, $p \le 0.05$)

The index above each column indicates the standard error.

جدول ٤- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات کیفی دو ژنوتیپ گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری

Table 4- ANOVA for the effect of salicylic acid application on the qualitative traits of two tomato cultivars under salinity stress

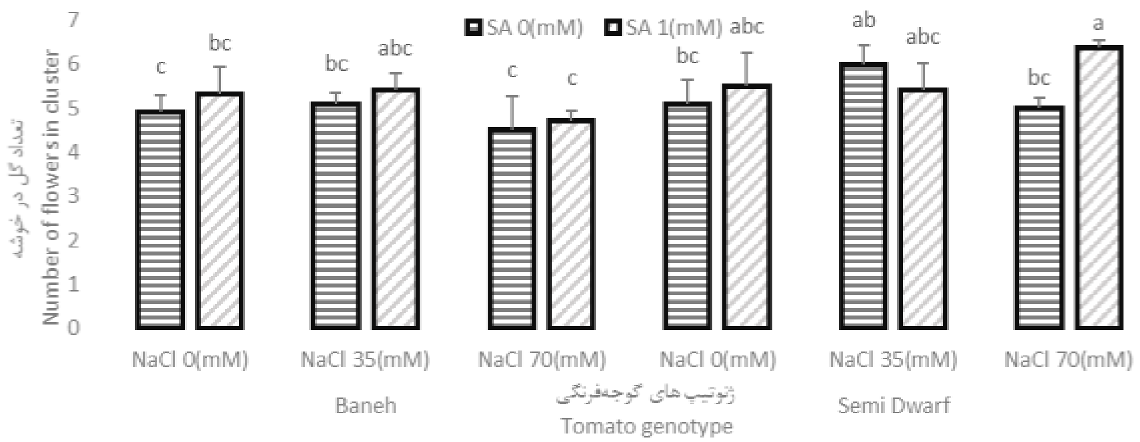
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares ویتامین ث Vitamin C	 اسیدیته قابل تیتراسیون Titratable acidity
ژنوتیپ Genotype	1	173.7**	50.62*
شوری Salinity	2	32.8**	245.8**
سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid	1	41.8**	40.46^{ns}
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	2	7.9^{ns}	23.57^{ns}
ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید Cultivar × Salicylic acid	1	3.2^{ns}	30.31^{ns}
شوری × سالیسیلیک‌اسید Salinity× Salicylic acid	2	12.8*	35.8^{ns}
ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید Genotype × Salinity × Salicylic acid	2	13.5*	54.6*
خطا Error	-	4.8	13.15

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

ns, ** and *: non-significant, significant at $p \le 0.01$ and $p \le 0.05$, respectively.

اسیدیته قابل تیتراسیون میوه (TA)

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) اثر شوری بر اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، همچنین اثر ژنوتیپ و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر اسیدیته قابل تیتراسیون میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما اثر سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید و شوری × سالیسیلیک‌اسید بر اسیدیته قابل تیتراسیون میوه معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که ژنوتیپ Baneh در بالاترین سطح شوری همراه با تیمار سالیسیلیک‌اسید بیشترین اسیدیته قابل تیتراسیون را دارا بود و همچنین ژنوتیپ Semi Dwarf بدون تنش شوری کمترین اسیدیته قابل تیتراسیون مشاهده شد، همچنین با افزایش سطح شوری اسیدیته قابل تیتراسیون افزایش یافت و در شرایط تنش شوری، استفاده از سالیسیلیک اسید در ژنوتیپ Baneh تأثیر مثبت بیشتری نسبت به ژنوتیپ Semi Dwarf داشت (شکل ۱۰). افزایش اسیدهای قابل تیتراسیون در شرایط شوری برای گیاهان مختلف در تحقیقات متعددی گزارش شده است. صالحی و همکاران (Salehi *et al.*, 2012) طی تحقیقی با محلول‌پاشی اسید سالیسیلیک روی بوته‌های توت فرنگی نشان دادند که مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون در نمونه‌های تیمار شده با اسید سالیسیلیک نسبت به شاهد افزایش معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد نشان داد. یکی از علل افزایش اسیدهای آلی در گیاهان تحت تیمار شوری، جذب و موازنه‌ی بیشتر کاتیون‌های معدنی (K^+ ،Na^+) در مقایسه با آنیون‌های معدنی (SO_4^{2-} ،Cl^-) است که به حفظ pH میوه نیز کمک می‌کند. تفاوت بین مقادیر کاتیون و آنیون‌های معدنی در میوه‌های تحت تیمار شوری منجر به ایجاد غلظت‌های بالاتر اسیدهای آلی در این میوه می‌شود.



شکل ۱۰- اثر سه گانه ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × شوری NaCl (mM) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر میزان اسیدیته قابل تیتراسیون میوه گوجه‌فرنگی

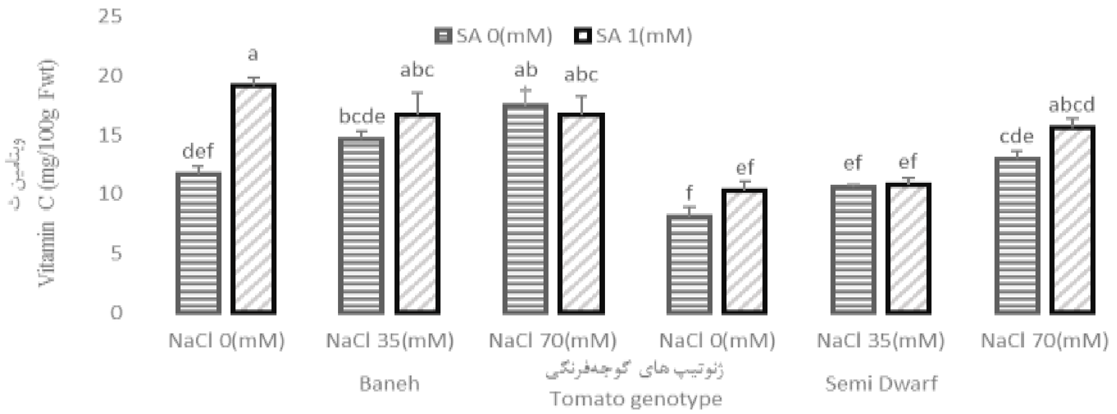
Figure 10- The triple effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×NaCl salinity (mM) ×salicylic acid (mM) on the titratable acidity of tomato fruit (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.

ویتامین ث میوه

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۴) نوع ژنوتیپ و غلظت‌های مختلف شوری و تیمار سالیسیلیک‌اسید تأثیر معنی‌داری بر ویتامین ث میوه در سطح احتمال یک درصد داشتند، همچنین اثرات متقابل شوری × سالیسیلیک‌اسید و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر ویتامین ث میوه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود، اما اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و ژنوتیپ × اسید بر ویتامین ث میوه معنی‌دار نبود. مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین ویتامین ث مربوط به ژنوتیپ Baneh بدون تنش شوری همراه با تیمار سالیسیلیک‌اسید بود و کمترین ویتامین ث در ژنوتیپ Semi Dwarf بدون تنش شوری مشاهده شد، همچنین در هر دو ژنوتیپ با افزایش سطح شوری میزان ویتامین ث افزایش پیدا کرد و از طرفی در ژنوتیپ Baneh نسبت به Semi Dwarf در تمام سطوح شوری میزان بیشتری ویتامین ث تولید شده بود و تیمار سالیسیلیک‌اسید فقط در ژنوتیپ Baneh و در شرایط بدون تنش شوری باعث افزایش ویتامین ث شد، ولی در بقیه تیمارها تأثیری نداشت (شکل ۱۱). افزایش سطوح آنتی‌اکسیدان‌های مختلف به‌عنوان پیام‌آور وقوع تنش از جمله تغییرات مهم در گیاهان

برای مقابله با تنش است. اسید آسکوربیک (ویتامین ث) از جمله ترکیبات آنتی‌اکسیدانی است که از تخریب بافت‌ها توسط رادیکال‌های آزاد جلوگیری می‌کند، که میزان آن در شرایط شوری در جهت کاهش آثار مخرب تنش افزایش می‌یابد. افزایش شوری در محلول غذایی می‌تواند منجربه افزایش ویتامین ث در میوه گوجه‌فرنگی گردد که این امر نتیجه کاهش مقادیر آب به‌دنبال کاهش پتانسیل آب گیاه است.



شکل ۱۱- اثر سه‌گانه ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × شوری NaCl (mM) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر محتوی‌ویتامین ث میوه گوجه‌فرنگی

Figure 11- The triple effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×NaCl salinity (mM) ×salicylic acid (mM) on the vitamin C content of tomato fruit (DMRT, *p≤0.05*)

The index above each column indicates the standard error.

خصوصیات فیزیولوژیکی

با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) اثر شوری و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید بر شاخص کلروفیل برگ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود، همچنین شاخص کلروفیل برگ به‌طور معنی‌داری از اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید در سطح احتمال ۵ درصد متأثر شد، اما اثر ژنوتیپ و سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل شوری × سالیسیلیک‌اسید بر شاخص کلروفیل برگ معنی‌دار نبود. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵) غلظت‌های مختلف شوری تأثیر معنی‌داری بر پرولین برگ در سطح احتمال یک درصد داشت، همچنین پرولین برگ به‌طور معنی‌داری از اثرات متقابل شوری × سالیسیلیک‌اسید در سطح احتمال ۵ درصد متأثر شد، اما اثر ژنوتیپ و سالیسیلیک‌اسید و اثرات متقابل ژنوتیپ × شوری و ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید و ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید بر پرولین برگ معنی‌دار نبود.

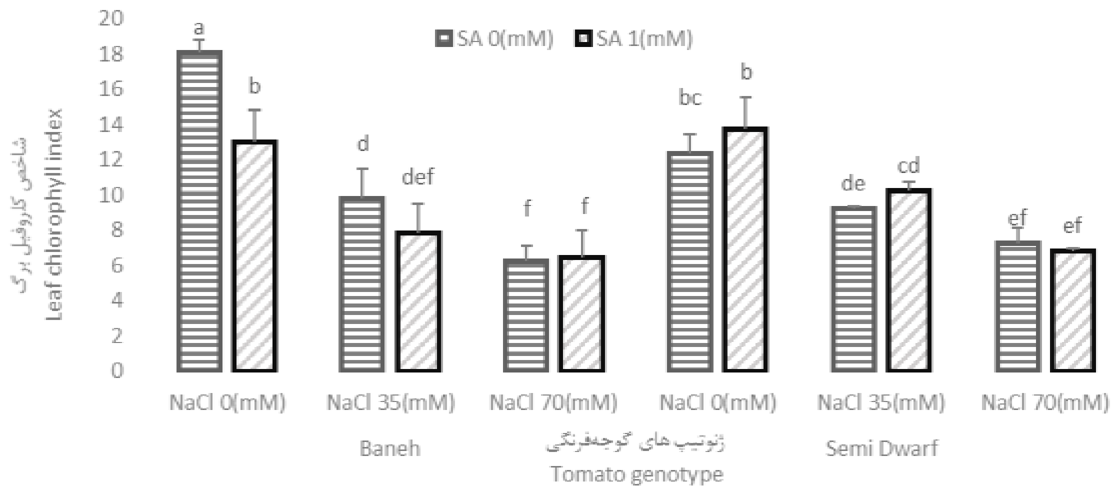
مقایسه میانگین ترکیب تیماری ژنوتیپ و شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین میزان شاخص کلروفیل برگ مربوط به ژنوتیپ Baneh بدون تنش شوری و کمترین میزان شاخص کلروفیل برگ نیز در همین ژنوتیپ در بالاترین سطح شوری بود، لازم به ذکر است که با افزایش سطح شوری میزان شاخص کلروفیل برگ در هر دو ژنوتیپ کاهش یافت و همچنین فقط در ژنوتیپ Semi Dwarf تیمار سالیسیلیک‌اسید باعث افزایش شاخص کلروفیل برگ گردید (شکل ۱۲). گزارش‌های متعددی از کاهش میزان فتوسنتز، محتوای کلروفیل و ریزش و زرد شدن برگ‌های پیر تحت تنش شوری وجود دارد. این می‌تواند به‌علت کاهش بیوسنتز و یا افزایش تجزیه کلروفیل به‌دلیل فعالیت انواع اکسیژن واکنش‌گر باشد (Khan *et al.*, 2003). اصغری و خوشبخت (Asgharei & Khoshbakht, 2015) گیاهان ذرت تحت تنش شوری و تیمار شده با سالیسیلیک اسید نتایج مشابهی به‌دست آورد. مواد معدنی موجود در خاک برای تولید کلروفیل اهمیت زیادی دارد و کمبود برخی یون‌های معدنی می‌تواند منجر به کاهش کلروفیل و کلروزیس شود. شوری بالا جذب یون‌های مختلف را دچار اختلال می‌کند (Flowers *et al.*, 2004). کاهش غلظت کلروفیل از عوامل مهم مؤثر در میزان ظرفیت فتوسنتزی گیاه به شمار می‌رود و افزایش درجه شوری موجب کارایی ضعیف برگ‌ها در انجام فتوسنتز و تشدید صدمات تنش می‌شود. بنابراین کاهش صفات رویشی را می‌توان به کاهش میزان مواد فتوسنتزی برای تأمین رشد سبزینه‌ای نسبت داد. کلروفیل و پرولین هر دو از پیش‌ماده مشترکی به‌نام گلوتامات سنتز می‌شوند. بنابراین می‌توان گفت افزایش سنتز پرولین در شرایط تنش شوری منجربه کاهش سنتز کلروفیل می‌گردد (Weisany *et al.*, 2011). نظر و همکاران (Nazar *et al.*, 2011) گزارش کردند که افزایش در فتوسنتز لوبیا با اعمال تیمار ۰/۵ میلی‌مولار اسید سالیسیلیک تحت تنش شوری همزمان با افزایش هدایت روزنه‌ای و غیر روزنه‌ای فتوسنتز است. احتمالاً تیمار بوته‌های تحت تنش شوری

با اسیدسالیسیلیک باعث کاهش محتوای یون‌های سدیم، کلر و القای فعالیـت ATP–سـولفوریلاز و نیتـرات ردوکتـاز و در نتیجـه افـزایش محتوای نیتروژن و گـوگرد بـاهم شـرکت در متابولیسـم گـروه نیـول پروتئین‌ها به سرعت گلوتـاتیون حاصـل نقـش مهمـی در متابولیسـم سلولی و مقاومت به تنش در مقابل رادیکال‌های آزاد بازی می‌کند.

جدول ۵- تجزیه واریانس تاثیر کاربرد سالیسیلیک اسید بر صفات فیزیولوژیکی دو ژنوتیپ گوجه‌فرنگی تحت تنش شوری
Table 5- ANOVA for the effect of salicylic acid application on the physiological traits of two tomato cultivars under salinity stress

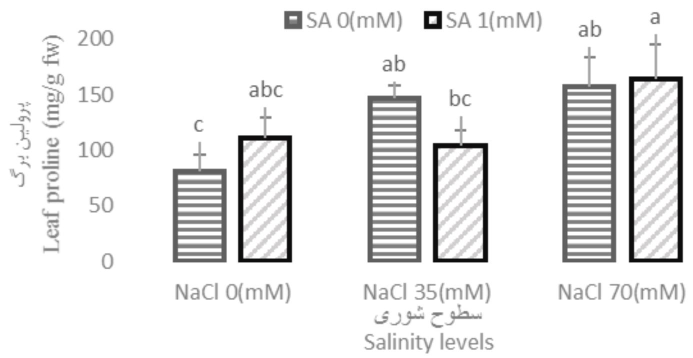
منابع تغییر S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean squares: پرولین Proline	میانگین مربعات Mean squares: شاخص کلروفیل Chlorophyll index
ژنوتیپ Genotype	1	669^{ns}	0.817^{ns}
شوری Salinity	2	11650**	170.57**
سالیسیلیک‌اسید Salicylic acid	1	29.6^{ns}	5.464^{ns}
ژنوتیپ × شوری Genotype × Salinity	2	120.8^{ns}	10.495**
ژنوتیپ × سالیسیلیک‌اسید Cultivar × Salicylic acid	1	31.39^{ns}	17.810**
شوری × سالیسیلیک‌اسید Salinity× Salicylic acid	2	88.54*	2.362^{ns}
ژنوتیپ × شوری × سالیسیلیک‌اسید Genotype × Salinity × Salicylic acid	2	278.8^{ns}	8.779*
خطا Error	–	2005	1.647

ns، ** و * به‌ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.
ns, ** and *: non-significant, significant at $p\leq0.01$ and $p\leq0.05$, respectively.



شکل ۱۲- اثر سه‌گانه ژنوتیپ (Baneh و Semi Dwarf) × شوری NaCl (mM) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر شاخص کلروفیل برگ گوجه‌فرنگی
Figure 12- The triple effect of cultivar (Baneh and Semi Dwarf) ×NaCl salinity (mM) ×salicylic acid (mM) on the leaf chlorophyll index of tomato (DMRT, $p\leq0.05$)
The index above each column indicates the standard error.

مقایسه میانگین ترکیب تیماری شوری و سالیسیلیک‌اسید نشان داد که بیشترین میزان پرولین برگ در بالاترین سطح شوری و همراه با تیمار سالیسیلیک‌اسید بود و کمترین میزان پرولین برگ در پایین‌ترین سطح شوری بود و با افزایش سطح شوری میزان پرولین برگ افزایش یافت، همچنین تیمار سالیسیلیک‌اسید نتوانست در میزان پرولین برگ تأثیرگذار باشد (شکل ۱۳). در مورد نقش پرولین در تعدیل اسمزی و افزایش تحمل به تنش شوری در گیاهان مطالعات زیادی صورت گرفته است (Li *et al.*, 2014). میزان تجمع پرولین تحت شرایط شوری با میزان تحمل گیاهان نسبت به شرایط تنش متناسب بوده است. یکی از علل اصلی افزایش سطح پرولین در طول تنش شوری می‌تواند ناشی از تغییر در فعالیت‌های آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز و یا تجزیه پرولین باشد. در مطالعه حاضر، افزایش چشمگیر میزان پرولین در نمونه‌های تیمار شده با سالیسیلیک اسید و رشد یافته در سطوح مختلف شوری می‌تواند بیانگر استراتژی سازگاری این گیاهان برای مقابله با شرایط تنش باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، به‌نظر می‌رسد که برهمکنش شوری و تیمار سالیسیلیک اسید دارای یک اثر افزایشی در تجمع پرولین بوده است. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که تیمار سالیسیلیک اسید احتمالاً از طریق تأثیر بر آنزیم‌های متابولیزه‌کننده پرولین سبب افزایش میزان پرولین در این گیاه شده و غلظت نمک بر میزان فعالیت این آنزیم‌ها توسط سالیسیلیک اسید مؤثر بوده است. حقیقی و منصوری (Haghighi & Mansouri, 2019) نشان دادند که اسید سالیسلیک در غلظت‌های کم شوری در گیاهان گوجه فرنگی باعث افزایش میزان پرولین می‌شود، اما در غلظت‌های بالای شوری اسید سالیسیلیک اثر معنی‌داری نشان نداد.



شکل ۱۳- اثر متقابل شوری NaCl (mM) × سالیسیلیک‌اسید (mM) بر محتوی پرولین برگ گوجه‌فرنگی

Figure 13- The interaction effect of NaCl salinity (mM) ×salicylic acid (mM) on the leaf proline content of tomato (DMRT, $p\leq 0.05$)

The index above each column indicates the standard error.

نتیجه‌گیری

تنش شوری در ارقام Baneh و Semi Dwarf در اکثر صفات مورد بررسی باعث کاهش شد، اما برخی صفات کیفی را بهبود بخشید و تیمار سالیسیلیک‌اسید در بیشتر شاخص‌های مورد بررسی در هر دو ژنوتیپ باعث بهبود شاخص‌های مذکور گردید. بنابراین با توجه به اینکه تیمار سالیسیلیک‌اسید در شرایط تنش شوری در ارقام Baneh و Semi Dwarf اثرات مثبت داشته، قابل توصیه می‌باشد. سالیسیلیک اسید یکی از مهمترین عوامل حیاتی در کشاورزی به شمار می‌رود که با توجه به آثار مفید یاد شده در پژوهش حاضر، با تأثیر بر سازوکارهای تنظیمی و عوامل کاهندهٔ آثار تنش در کاهش آثار منفی تنش شوری نقش بسزایی دارند. با توجه به اهمیت کشاورزی ارگانیک در دنیای امروز، لازم است به بررسی‌های بیشتر در این زمینه توجه ویژه‌ای شود.

References

1. Ahmad, R., Hussain, S., Anjum, M.A., Khalid, M.F., Saqib, M., Zakir, I., & Ahmad, S. (2019). Oxidative stress and antioxidant defense mechanisms in plants under salt stress. Plant abiotic stress tolerance: *Agronomic, Molecular and Biotechnological Approaches*, 191-205. https://doi.org/10.1007/978-3-030-06118-0_8
2. Ahmadi, Sh. (2017). *Effect of sodium nitroprusside and salicylic acid foliar applicationon morpho-physiological characters and postharvest quality of tomatounder salinity stress*. University of Kurdistan. Faculty of Agriculture. Department of Horticultural Science.

3. Antonić, D., Milošević, S., Cingel, A., Lojić, M., Trifunović-Momčilov, M., Petrić, M., & Simonović, A. (2016). Effects of exogenous salicylic acid on *Impatiens walleriana* L. grown in vitro under polyethylene glycol-imposed drought. *South African Journal of Botany*, *105*, 226-233. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.04.002
4. AOAC. (1980). *Official methods of analysis. 13th Ed. Washington, D. C., Association of Official Analytical Chemists.*
5. Bates, L.S., Waldren, R.A., & Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207. https://doi.org/10.1007/BF00018060
6. Bayat, H., Alirezaie, M., & Neamati, H. (2012). Impact of exogenous salicylic acid on growth and ornamental characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.) under salinity stress. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, *8*(1), 258-267.
7. Cheng, X., Deng, G., Su, Y., Liu, J.J., Yang, Y., Du, G.H., & Liu, F.H. (2016). Protein mechanisms in response to NaCl-stress of salt-tolerant and salt-sensitive industrial hemp based on iTRAQ technology. *Industrial Crops and Products*, *83*, 444-452. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.12.086
8. Egamberdieva, D., Wirth, S., Bellingrath-Kimura, S.D., Mishra, J., & Arora, N.K. (2019). Salt-tolerant plant growth promoting rhizobacteria for enhancing crop productivity of saline soils. *Frontiers in Microbiology*, *10*, 2791. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02791
9. Farhadi, N., & Ghassemi-Golezani, K. (2020). Physiological changes of *Mentha pulegium* in response to exogenous salicylic acid under salinity. *Scientia Horticulturae*, *267*, 109325. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109325
10. Flowers, T.J. (2004). Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental botany*, *55*(396), 307-319. https://doi.org/10.1093/jxb/erh003
11. Gharib, F.A. (2006). Effect of salicylic acid on the growth, metabolic activities and oil content of basil and marjoram. *International Journal of Agriculture and Biology*, *4*, 485-492.
12. Haghighi, M., & Mansouri, F. (2019). Effect of jasmonic acid and salicylic acid on growth and physiological changes of tomato under salinity stress. *Journal of Soil and Plant Interactions-Isfahan University of Technology*, *9*(4), 1-14. http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1397.9.4.1.7
13. Hajiaghaei-Kamrani, M., & Hosseinniya, H. (2013). Effect of salinity on nutrient uptake in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in hydroponic system. *International Journal of Agronomy and Plant Production*, *4*(10), 2729-2733.
14. Horváth, E., Csiszár, J., Gallé, Á., Poór, P., Szepesi, Á., & Tari, I. (2015). Hardening with salicylic acid induces concentration-dependent changes in abscisic acid biosynthesis of tomato under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, *183*, 54-63. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.05.010
15. Hussein, M.M., Balbaa, L.K., & Gaballah, M.S. (2007). Salicylic acid and salinity effects on growth of maize plants. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, *3*(4), 321-328.
16. Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2015). Salicylic acid in plant salinity stress signalling and tolerance. *Plant Growth Regulation*, *76*, 25-40. https://doi.org/10.1007/s10725-015-0028-z
17. Kazemi, M. (2013). Influence of foliar application of 5-sulfosalicylic acid, malic acid, putrescine and potassium nitrate on vegetative growth and reproductive characteristics of strawberry cv.'Selva'. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, *7*(20), 93-101.
18. Khorsandi, O., Hassani, A., Sefidkon, F., Shirzad, H., & Khorsandi, A.R. (2010). Effect of salinity (NaCl) on growth, yield, essential oil content and composition of *Agastache foeniculum* kuntz. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants Research*, *26*(3), 438-451. https://doi.org/10.22092/ijmapr.2010.6807
19. Khoshbakht, D., & Asgharei, M.R. (2015). Influence of foliar-applied salicylic acid on growth, gas-exchange characteristics, and chlorophyll fluorescence in citrus under saline conditions. *Photosynthetica*, *53*, 410-418.
20. Kiani, A.R., & Mirlatifi, S.M. (2012). Effect of different quantities of supplemental irrigation and its salinity on yield and water use of winter wheat (*Triticum aestivum*). *Irrigation and Drainage*, *61*(1), 89-98. https://doi.org/10.1002/ird.629
21. Li, T., Hu, Y., Du, X., Tang, H., Shen, C., & Wu, J. (2014). Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress in *Torreya grandis* cv. Merrillii seedlings by activating photosynthesis and enhancing antioxidant systems. *PLOS one*, *9*(10), e109492.
22. Ma, X., Zheng, J., Zhang, X., Hu, Q., & Qian, R. (2017). Salicylic acid alleviates the adverse effects of salt stress on *Dianthus superbus* (Caryophyllaceae) by activating photosynthesis, protecting morphological structure, and enhancing the antioxidant system. *Frontiers in Plant Science*, *8*, 600. https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00600
23. Massaretto, I.L., Albaladejo, I., Purgatto, E., Flores, F.B., Plasencia, F., Egea-Fernández, J.M., & Egea, I. (2018). Recovering tomato landraces to simultaneously improve fruit yield and nutritional quality against salt stress. *Frontiers in Plant Science*, *9*, 1778. https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01778
24. Mohammadi, M., Khosravifar, F., & Siahi, N. (2024). The effect of glycine betaine on some morphological traits, osmolyte accumulations and antioxidant system of sports grass under salt stress. *Journal of Horticultural Science*. https://doi.org/10.22067/jhs.2024.85599.1305

25. Mohammadzadeh, M., Arouee, H., Neamati, S.H., & Shoor, M. (2013). Effect of different levels of salt stress and salicylic acid on morphological characteristics of four mass native basils (*Ocimum basilcum*). *International Journal of Agronomy and Plant Production, 4(Special* Issue), 3590-3596.
26. Nazar, R., Iqbal, N., Syeed, S., & Khan, N.A. (2011). Salicylic acid alleviates decreases in photosynthesis under salt stress by enhancing nitrogen and sulfur assimilation and antioxidant metabolism differentially in two mungbean cultivars. *Journal of Plant Physiology*, *168*(8), 807-815. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2010.11.001
27. Nounjan, N., Nghia, P.T., & Theerakulpisut, P. (2012). Exogenous proline and trehalose promote recovery of rice seedlings from salt-stress and differentially modulate antioxidant enzymes and expression of related genes. *Journal of Plant Physiology*, *169*(6), 596-604. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2012.01.004
28. Pessarakli, M. (2016). Saltgrass, a minimum water and nutrient requirement halophytic plant species for sustainable agriculture in desert regions. *Journal of Earth, Environment and Health Sciences*, *2*(1), 21.
29. Piri, H., Ansari, H., & Parsa, M. (2018). Determination of water- salinity production function by taking time performance and the assessment production indexes of forage sorghum. *Water Resour, 11*, 38. 15-26.
30. Poór, P., Borbély, P., Bódi, N., Bagyánszki, M., & Tari, I. (2019). Effects of salicylic acid on photosynthetic activity and chloroplast morphology under light and prolonged darkness. *Photosynthetica*, *57*(2).
31. Putra, P.A., & Yuliando, H. (2015). Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, *3*, 283-288. https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2015.01.054
32. Rady, M.M., & Mohamed, G.F. (2015). Modulation of salt stress effects on the growth, physio-chemical attributes and yields of *Phaseolus vulgaris* L. plants by the combined application of salicylic acid and *Moringa oleifera* leaf extract. *Scientia Horticulturae*, *193*, 105-113. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.003
33. Rezvan, A., Eftekhari, S., Salehi, R., & Sedighi Dehkordi, F. (2022). Comparison of yield, fruit quality and some biochemical traits of four cherry tomato varieties in soilless culture. *Journal of Horticultural Science*, *35*(4), 459-468. https://doi.org/10.22067/jhs.2021.60924.0
34. Rivas-San Vicente, M., & Plasencia, J. (2011). Salicylic acid beyond defence: its role in plant growth and development. *Journal of Experimental Botany*, *62*(10), 3321-3338. https://doi.org/10.1093/jxb/err031
35. Mohamadiyeh, Z.S., Moghaddam, M., Abedy, B., & Samiei, L. (2015). Effects of salinity stress on some yield parameters and morphological characteristics of spearmint (*Mentha spicata* L.) in hydroponic conditions. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 6*(23).
36. Salehi, S., Babalar, M., Tagvi, T., & Askari Sarcheshmeh, M.A. (2012). The effect of salicylic acid misting treatment on the growth, yield and quality traits of Camarosa strawberry. *Journal of Horticultural Sciences of Iran*, *44*, 349-357.
37. Signore, A., Serio, F., & Santamaria, P. (2016). A targeted management of the nutrient solution in a soilless tomato crop according to plant needs. *Frontiers in Plant Science*, *7*, 391. https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00391
38. Weisany, W., Sohrabi, Y., Heidari, GH., & Ghassemi-Golzani, K. (2011). Physiological responses of soybean (*Glycine max* L.) to zinc application under salinity stress. *Australian Journal of Crop Science*, *5*(11), 1441-1447.